

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
26. Juni 2003 (26.06.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/052253 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: F02D 41/40,
41/30, 41/02

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WAGNER, Jens
[DE/DE]; Lorenzstafel 8, 70182 Stuttgart (DE). WEN-
ZLER, Thomas [DE/DE]; Fichtenstrasse 16, 71296
Heimsheim (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/04264
(22) Internationales Anmeldeatum: 20. November 2002 (20.11.2002)

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,
IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
(30) Angaben zur Priorität:
101 63 022.0 19. Dezember 2001 (19.12.2001) DE

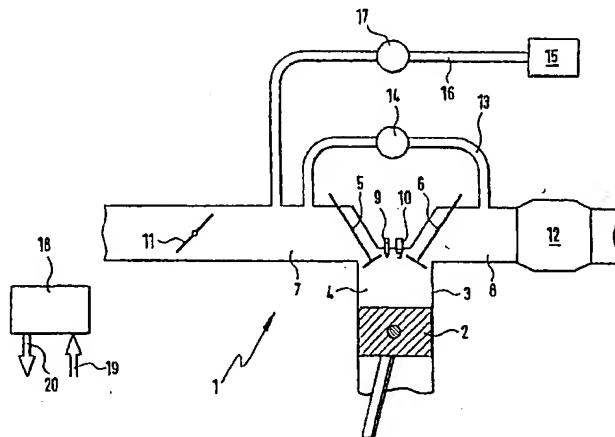
Veröffentlicht:
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02
20, 70442 Stuttgart (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR OPERATING AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE, IN PARTICULAR FOR MOTOR VEHICLES

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER BRENNKRAFTMASCHINE, INSbesondere FÜR KRAFT-
FAHRZEUGE



WO 03/052253 A2

(57) Abstract: The invention relates to a method for operating an internal combustion engine, in particular for motor vehicles comprising a catalytic converter. According to said method, to heat the catalytic converter, a switch is made between a homogeneous operating mode with a single injection of fuel and an operating mode with an injection of fuel into a combustion chamber of said internal combustion engine that is split into two injection instants, the two injection instants in the case of the split injection lying prior to the ignition of a fuel/air mixture. The invention is characterised in that during the switching operation from the homogeneous operating mode to the split-injection mode, the first injection instant essentially corresponds to the injection instant of the homogeneous operating mode and the second injection of the split injection occurs early enough for the resultant mixture during the split-injection operation to correspond to a homogeneous mixture and once the modes have been switched, the second injection instant is postponed until a predefined preparation of the mixture has been obtained. During a switch from the split-injection operating mode to a homogeneous operating mode, the postponement of the second injection instant is reversed. The invention also relates to a computer program, which is suitable for carrying-out said method when it is executed on a computer.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, insbesondere für Kraftfahrzeuge, mit einem Katalysator zur Aufheizung des Katalysators, bei dem zwischen einem homogenen Betriebszustand mit einmaliger und einem Betriebszustand mit aufgeteilter Einspritzung von Kraftstoff auf mindestens zwei Einspritzzeitpunkte in einen Brennraum der Brennkraftmaschine umgeschaltet wird, wobei bei aufgeteilter Einspritzung beide Einspritzzeitpunkte vor einer Zündung eines Kraftstoff/Luft-Gemisches liegen, wobei beim Umschaltvorgang vom homogenen Betriebszustand auf den Betriebszustand mit aufgeteilter Einspritzung der erste Einspritzzeitpunkt im wesentlichen dem Einspritzzeitpunkt des homogenen Betriebszustandes entspricht und die zweite Einspritzung der aufgeteilten Einspritzung zunächst so früh erfolgt, dass das entstehende Gemisch beim Betrieb mit aufgeteilter Einspritzung annähernd einem homogenen Gemisch entspricht und nach der erfolgten Umschaltung der zweite Einspritzzeitpunkt nach spät verschoben wird, bis eine vorgegebene Gemischaufbereitung vorliegt und wobei bei einer Umschaltung vom Betriebszustand mit aufgeteilter Einspritzung zum homogenen Betriebszustand die Verschiebung des zweiten Einspritzzeitpunktes umgekehrt erfolgt. Ferner betrifft die Erfindung ein Computerprogramm, das zur Durchführung des Verfahrens geeignet ist, wenn es auf einem Computer ausgeführt wird.

5

10

Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine,
insbesondere für Kraftfahrzeuge

Stand der Technik

15

20

25

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, insbesondere für Kraftfahrzeuge, bei dem zur Aufheizung eines Katalysators vorgesehen ist, dass zwischen einem homogenen Betriebszustand mit einmaliger und einem Betriebszustand mit aufgeteilter Einspritzung von Kraftstoff auf mindestens zwei Einspritzzeitpunkte in einem Brennraum der Brennkraftmaschine umgeschaltet wird, wobei bei aufgeteilter Einspritzung beide Einspritzzeitpunkte vor einer Zündung eines Kraftstoff/Luft-Gemisches liegen.

30

Ein derartiges Verfahren ist beispielsweise aus der DE 101 00 682.9 bekannt, in der ein Verfahren beschrieben wird, zur Aufheizung eines Katalysators bei Verbrennungsmotoren mit Benzin-Direkteinspritzung mit den Schritten:

35

- Verstellen der Zündung nach "spät",
- Prüfen, ob die Füllung der Zylinder mit Luft eine vorgegebene Schwelle überschreitet,
- Aufteilung der Kraftstoff-Einspritzung auf zwei Teilmengen, die vor der Zündung eingespritzt werden,

- 2 -

wenn die Luftfüllung die Schwelle überschreitet.

Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor benötigen zur Abgasreinigung Katalysatoren im Abgastrakt. Diese 5 Katalysatoren müssen nach einem Kaltstart möglichst schnell auf Betriebstemperatur gebracht werden, so dass Mittel zur Aufheizung vorgesehen werden. Beispielsweise kann der Katalysator nach Kaltstart durch hohe Abgastemperaturen aufgeheizt werden. Dieses sogenannte "motorische Kathetizen" 10 hat den Vorzug, ohne zusätzliche Komponenten auszukommen.

Bei Verbrennungsmotoren kann prinzipiell die Abgastemperatur erhöht werden, indem der Wirkungsgrad der Verbrennung verschlechtert wird. Eine 15 Wirkungsgradverschlechterung der motorischen Verbrennung kann beispielsweise durch eine Abweichung des Zündzeitpunktes vom optimalen Zeitpunkt herbeigeführt werden, wobei der optimale Zeitpunkt durch den maximalen Wirkungsgrad definiert wird. Durch die Wirkungsgradeinbuße 20 ist das Abgas heißer im Vergleich zum Betrieb ohne Wirkungsgradeinbuße. Es entfaltet daher eine verstärkte Heizwirkung im Katalysator.

Für Motoren mit Benzin-Direkteinspritzung existieren 25 prinzipiell zwei Möglichkeiten, die Abgastemperatur zu erhöhen, ohne zusätzliche Komponenten zu verbauen:

1. Späte Zündung zur Verschlechterung des Wirkungsgrades der Verbrennung. Das gezündete Gemisch ist dabei 30 stöchiometrisch oder leicht mager.
2. Zusätzliche Einspritzung von Kraftstoff nach Zündung zur Nachverbrennung. Das gezündete Gemisch ist dabei sehr mager (Schichtbetrieb).

35 Durch die ansteigende Laufunruhe ist bei homogenem Gemisch

- 3 -

die Spätzündung begrenzt. Bei tiefen
Katalysatortemperaturen können die Emissionen darüber
hinaus durch leicht mageres Abgaslambda verbessert werden.
Eine Abmagerung ist bei kaltem Motor aber nur eingeschränkt
möglich.

Wird zur Katalysatoraufheizung eine Nacheinspritzung
vorgesehen, muss das Durchbrennen der zusätzlichen
Kraftstoffmasse gewährleistet sein. Um eine sichere und
vollständige Verbrennung im Abgaskrümmer zu gewährleisten,
muss dieser in seiner Bauform optimiert werden hinsichtlich
Durchmischung und geringer thermischer Masse. Andere Ziele
wie Verringerung des Einbauraums und Leistungsoptimierung
können dadurch eingeschränkt werden. Prinzipiell wird die
Nachreaktion bei kaltem Abgaskrümmer schlechter ablaufen.
Es können daher hier die Emissionen kurz nach dem Start
kaum verringert werden.

Da im Brennraum höhere Temperaturen herrschen, können bei
einer Nachverbrennung im Brennraum bereits kurz nach Start
geringe Emissionen erreicht werden. Soll der Kraftstoff
noch im Brennraum zünden, so müssen die Betriebsparameter
in einem engen Fenster gehalten werden. Insbesondere muss
die Einspritzung sehr früh angesetzt werden und trägt daher
deutlich zur Momententwicklung bei. Dies setzt für kleine
Lastpunkte sehr kurze Einspritzzeiten voraus, was sehr hohe
Ansprüche an die Einspritzventile impliziert.

Durch die Aufteilung der Einspritzung vor Zündung ändert
sich die Gemischaufbereitung. Durch diesen Gemischtyp kann
daher der Motorlauf verbessert werden. Es ist grundsätzlich
bei einem schlechteren Wirkungsgrad und damit einem
späteren Zündzeitpunkt und einer höheren Abgastemperatur
eine bessere Laufruhe erzielbar und das Gemisch kann früher
nach dem Start stärker abgemagert werden als bei einem
homogenen Gemisch durch einfache Einspritzung. Dadurch

- 4 -

entstehen geringere Emissionen.

Allerdings ist die Genauigkeit von Einspritzventilen bei kleinen Mengen sehr schlecht. Es ist daher eine Aufteilung der Einspritzung für kleinere Luftfüllungen nicht möglich.

Um einen sicheren Start und Hochlauf des Motors, also der Brennkraftmaschine, zu gewährleisten, kann für diese Phase noch eine einfache homogene Einspritzung notwendig sein. Eine Aufteilung der Einspritzung erfolgt dann erst, wenn ausreichend Luftfüllung vorhanden ist. Hierdurch werden zu kurze Einspritzzeiten vermieden, die zu einer ungenauen Kraftstoff-Zumessung führen würden.

Durch die Aufteilung der Einspritzung entsteht eine Gemischschichtung. Dadurch kann an der Zündkerze ein eher fettes Gemisch anliegen, wobei das Summenlambda noch mager ist. Durch das fette Gemisch um die Kerze kann ein sicheres Zünden auch bei magerem Summenlambda sichergestellt werden.

Zusätzlich kann trotz später Zündung ein sicheres, schnelles Anbrennen des Gemisches gewährleistet werden, wodurch sich die Laufruhe bei später Zündung verbessert.

Da sich bei geteilter, vor der Zündung erfolgter Einspritzung eine andere Gemischverteilung einstellt, fett in der Brennraummitte und mager an der Brennraumwand, kann der Wandwärmeverlust verringert werden. Abhängig von Brennraumform und den Parametern kann das folgende Auswirkungen haben:

- (i) eine höherer Abgastemperatur bei gleicher Abgasmenge und daher mehr Heizleistung für den Katalysator,
- 35 (ii) eine geringe Abgasmenge bei gleicher Temperatur, da die Wandwärmeverluste geringer sind, wodurch die

- 5 -

Verweilzeiten der Schadstoffkomponenten im Krümmer und Katalysator länger werden und eine Nachreaktion gefördert wird. Die Emissionen nach Katalysator können also auch hierdurch verbessert werden.

5

Grundsätzlich muss mindestens einmal in der Startphase von der einfachen homogenen Einspritzung (Start und Hochlauf) zur aufgeteilten Einspritzung (Aufheizen des Katalysators) und zurück umgeschaltet werden. Da das Verhältnis bei der Einspritzmenge nicht oder nur wenig variiert werden kann, muss hart zwischen diesen beiden Gemischtypen umgeschaltet werden.

Hierbei kann es dazu kommen, dass der Fahrer die Umschaltung, die einen Momentensprung beeinhalten kann, als Ruck im Fahrzeug wahrnimmt. Die Momentenentwicklung ist aufgrund des unterschiedlichen Gemischtyps und der anderen Verbrennungsgeschwindigkeit bei einfacher homogener Einspritzung und aufgeteilter Einspritzung stark unterschiedlich. Daher muss mit der Umschaltung der Zündzeitpunkt sprunghaft verschoben und die Luftfüllung schnell geändert werden. Auch wenn die Momentenentwicklung für diese Änderung genau moduliert werden kann, entstehen durch Toleranzen von Sensoren und Aktuatoren Ungenauigkeiten, beispielsweise durch die ungenaue Erfassung der Luftfüllung und des Kurbelwinkels.

Darüber hinaus bestehen noch Ungenauigkeiten der Kraftstoffzumessung, da einmal zwei kurze Einspritzzeiten gegenüber einer langen Einspritzzeit gegeben sind. Hierdurch kann es zusätzlich zu Lambda-Abweichungen kommen, wobei dieses Problem lediglich durch genauere Einspritzventile behoben werden kann.

Die Erfindung stellt nun ein Verfahren bereit, bei dem eine ruckartige Änderung der Einstellparameter und damit auch

- 6 -

des Drehmomentes verringert werden kann, bei gleichzeitig verbesselter Aufheizung des Katalysators.

- Die Erfindung löst diese Aufgabe durch ein zuvor beschriebenes Verfahren, bei dem beim Umschaltvorgang vom homogenen Betriebszustand auf den Betriebszustand mit aufgeteilter Einspritzung der erste Einspritzzeitpunkt im wesentlichen dem Einspritzzeitpunkt des homogenen Betriebszustandes entspricht und der zweite Einspritzzeitpunkt der aufgeteilten Einspritzung zunächst so früh erfolgt, dass das hierbei entstehende Gemisch annähernd einem homogenen Gemisch entspricht und nach der erfolgten Umschaltung der zweite Einspritzzeitpunkt nach spät verschoben wird, bis eine vorgegebene Gemischaufbereitung vorliegt, und wobei bei einer Umschaltung vom Betriebszustand mit aufgeteilter Einspritzung zum homogenen Betriebszustand die Verschiebung des zweiten Einspritzzeitpunktes umgekehrt, d. h. in Richtung des ersten Einspritzzeitpunktes erfolgt.
- Auf diese Weise kann die Gemischaufbereitung derart umgeschaltet werden, dass die Momentenentwicklung von homogener und aufgeteilter Einspritzung noch ähnlich ist. Dadurch können eventuelle Ungenauigkeiten nicht mehr zu einem spürbaren Momentensprung führen. Erst nach der Umschaltung wird die aufgeteilte Einspritzung kontinuierlich verändert, bis die gewünschte Gemischaufbereitung erreicht ist.
- Die Verschiebung kann dabei kontinuierlich oder schrittweise erfolgen, wobei die einzelnen diskreten Abschnitte jeweils so gewählt sein sollten, dass kein Momentensprung für den Fahrer spürbar ist.
- Das Optimale ist hierbei die kontinuierliche Verschiebung.

- 7 -

Die Aufgabe wird auch durch ein Computerprogramm, ein Steuer- und Regelgerät sowie eine Brennkraftmaschine gelöst, gemäß den Ansprüchen.

- 5 Dadurch, dass der zweite Einspritzzeitpunkt unmittelbar nach dem Umschalten dicht beim ersten Einspritzzeitpunkt liegt, entspricht das Gemisch kurz nach dem Umschalten auf einen Betriebszustand mit aufgeteilter Einspritzung annäherungsweise einem homogenen Gemisch mit einzelner
10 Einspritzung. Da die Umschaltung zwischen einfacher homogener und aufgeteilter Einspritzung immer mit einer zweiten Einspritzung erfolgt, die sehr früh liegt, also nahe bei der ersten Einspritzung, müssen Zündzeitpunkt und Luftfüllung unmittelbar nach der Umschaltung nur minimal angepasst werden. Nach der Umschaltung zur aufgeteilten
15 Einspritzung wird dann der zweite Einspritzzeitpunkt nach spät verschoben, zum eigentlichen Sollwert. Hierbei erfolgt eine Anpassung der Luftfüllmenge und im umgekehrten Fall erfolgt vor dem Zurückschalten wiederum eine Anpassung der
20 Luftfüllmenge. So wird in der Regel die Luftfüllmenge bei der Umschaltung auf einen Betriebszustand mit aufgeteilter Einspritzung angehoben werden. Außerdem kann dabei eine Anpassung des Zündzeitpunktes notwendig werden.
25 Insbesondere betrifft die Erfindung ein Verfahren, bei dem vor dem Umschalten geprüft wird, ob die Luftfüllmenge in der Brennkammer einen vorgegebenen Grenzwert übersteigt. Dies ist insofern notwendig, da die Genauigkeit der Kraftstoffzumessung erst ab gewissen Einspritzmengen sicher
30 gegeben ist. Bei der Aufteilung der Einspritzung wird die Genauigkeit der Kraftstoffzumessung verändert, da nun zwei kurze Einspritzzeiten gegenüber einer langen Einspritzzeit vorliegen. Insofern ist es notwendig, dass zumindest mittlere Luftfüllungen vorliegen, wobei hierbei beide
35 Kraftstoffmengen ungefähr gleich groß sein müssen. Erst wenn große Luftfüllungen erreicht werden, kann die erste

- 6 -

Einspritzmenge gegenüber der zweiten Einspritzmenge bei der aufgeteilten Einspritzung variiert werden.

Des weiteren kann vorgesehen sein, dass die Verschiebung
5 des zweiten Einspritzzeitpunktes kontinuierlich oder in mehreren separaten diskreten Schritten erfolgt.

Insbesondere eine kontinuierliche Verstellung mit einer kontinuierlichen Verstellung des Zündzeitpunktes sowie der Luftfüllmenge ist besonders bevorzugt.

10 Es kann des weiteren vorgesehen sein, dass nach der Umschaltung vom homogenen Betriebszustand in den Betriebszustand mit aufgeteilter Einspritzung und/oder vor dem Zurückschalten bei der Verschiebung des zweiten
15 Einspritzzeitpunktes der Zündzeitpunkt verschoben wird, um den Wirkungsgrad zu verändern.

20 Insbesondere ist bei einer aufgeteilten Einspritzung ein späterer Zündzeitpunkt möglich, wodurch ein schlechterer Wirkungsgrad erzielbar ist, der auf der anderen Seite zu einer besseren Aufheizung des Katalysators führt. Trotz des schlechteren Wirkungsgrades aufgrund des späteren Zündzeitpunkts ist die Laufruhe bei einem Betrieb mit aufgeteilter Einspritzung jedoch verbessert.

25 Schließlich umfasst die Erfindung ein Computerprogramm, das zur Durchführung des Verfahrens, wie es vorstehend beschrieben ist, geeignet ist, wenn es auf einem Computer ausgeführt wird. Das Computerprogramm kann dabei insbesondere auf einem Speicher, insbesondere einem Flash-Memory, abgespeichert sein.

35 Des weiteren umfasst die Erfindung ein Steuer- und/oder Regelgerät zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, das einen Speicher umfasst, auf dem ein Computerprogramm, wie es vorstehend beschrieben ist, abgespeichert ist. Ein

- 9 -

derartiges Steuer- und Regelgerät dient zur Steuerung sämtlicher Vorgänge im Motor, wie beispielsweise Zumessung der jeweiligen Einspritzmengen, Einstellung der Zündzeitpunkte, Zumessung der entsprechenden Luftmengen
5 etc.

Schließlich umfasst die Erfindung noch eine Brennkraftmaschine mit einem Brennraum, mit einer Kraftstoff-Einspritzvorrichtung, über welche der Kraftstoff in den Brennraum gelangt, wobei die Brennkraftmaschine ein Steuer- und/oder Regelgerät umfasst, sowie einen Katalysator, wobei insbesondere zum Aufheizen des Katalysators vorgesehen ist, dass eine Umschaltung zwischen einem homogenen Betriebszustand mit einmaliger und einem Betriebszustand mit aufgeteilter Einspritzung von Kraftstoff auf mindestens zwei Einspritzzeitpunkte in einen Brennraum der Brennkraftmaschine vorgesehen ist, wobei bei aufgeteilter Einspritzung beide Einspritzzeitpunkte vor einer Zündung eines Kraftstoff/Luft-Gemisches liegen, wobei unmittelbar nach dem Umschaltvorgang vom homogenen Betriebszustand auf den Betriebszustand mit aufgeteilter Einspritzung der erste Einspritzzeitpunkt im wesentlichen dem ersten Einspritzzeitpunkt des homogenen Betriebszustandes entspricht und der zweite
15 Einspritzzeitpunkt der aufgeteilten Einspritzung zunächst so nahe beim ersten Einspritzzeitpunkt liegt, dass das hierbei entstehende Gemisch annähernd einem homogenen Gemisch entspricht und der zweite Einspritzzeitpunkt dann nach spät vom ersten Einspritzzeitpunkt weg verschiebbar
20 ist, bis eine vorgegebene Gemischaufbereitung vorliegt und wobei bei einer Umschaltung vom Betriebszustand mit aufgeteilter Einspritzung zum homogenen Betriebszustand der zweite Einspritzzeitpunkt umgekehrt verschiebbar ist.
25

30 Insgesamt werden durch die Aufteilung der Einspritzung folgende Vorteile erreicht, da hier ein anderer Gemischtyp

- 10 -

vorliegt:

- 5 - Es wird der Motorlauf verbessert,
 - es ist bei besserer Laufruhe ein schlechterer
 Wirkungsgrad (späterer Zündzeitpunkt) möglich und
 - das Gemisch kann stärker abgemagert werden.

10 Gleichzeitig können durch die beschriebene
 Umschaltstrategie ruckartige Änderungen der
 Einstellparameter vermieden werden. Die Gemischaufbereitung
 wird derart umgeschaltet, dass die Momentenentwicklungen
 von homogener und aufgeteilter Einspritzung derart ähnlich
 sind, dass Ungenauigkeiten beispielsweise durch Toleranzen
 von Sensoren und Aktuatoren nicht mehr zu einem spürbaren
15 Momentensprung führen. Darüber hinaus wird auch kein
 Momentenverlust bei der Umschaltung spürbar, den der Fahrer
 in Form eines "Rucks" wahrnimmt.

20 Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der
 Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung
 eines Ausführungsbeispiels der Erfindung, das in der Figur
 der Zeichnung dargestellt ist. Dabei bilden alle
 beschriebenen oder dargestellten Merkmale für sich oder in
 beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung,
25 unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den
 Patentansprüchen oder deren Rückbeziehung sowie unabhängig
 von ihrer Formulierung bzw. Darstellung in der Beschreibung
 bzw. in der Zeichnung. Dabei zeigt:

30 Figur 1 eine Brennkraftmaschine,

Figur 2 Parameterverläufe bei Umschaltung mit
 Verschiebung des zweiten Einspritzzeitpunktes und
 bei spontaner Umschaltung.

35 Figur 1 zeigt eine Brennkraftmaschine 1 eines

- 11 -

Kraftfahrzeugs, bei der ein Kolben 2 in einem Zylinder 3 hin- und herbewegbar ist. Der Zylinder 3 ist mit einem Brennraum 4 versehen, der u. a. durch den Kolben 2, ein Einlassventil 5 und ein Auslassventil 6 begrenzt ist. Mit dem Einlassventil 5 ist ein Ansaugrohr 7 und mit dem Auslassventil 6 ein Abgasrohr 8 gekoppelt. Im Bereich des Einlassventils 5 und des Auslassventils 6 ragen ein Einspritzventil 9 und eine Zündkerze 10 in den Brennraum. Über das Einspritzventil 9 kann Kraftstoff in den Brennraum 4 eingespritzt werden. Mit der Zündkerze 10 kann der Kraftstoff in dem Brennraum 4 entzündet werden.

In dem Ansaugrohr 7 ist eine drehbare Drosselklappe 11 untergebracht, über die dem Ansaugrohr 7 Luft zuführbar ist. Die Menge der zugeführten Luft ist abhängig von der Winkelstellung der Drosselklappe 11. In dem Abgasrohr 8 ist ein Katalysator 12 untergebracht, der der Reinigung der durch die Verbrennung des Kraftstoffs entstehenden Abgase dient.

Von dem Abgasrohr 8 führt ein Abgasrückführrohr 13 zurück zu dem Ansaugrohr 7. In dem Abgasrückführrohr 13 ist ein Abgasrückführventil 14 untergebracht, mit dem die Menge des in das Ansaugrohr 7 rückgeföhrten Abgases eingestellt werden kann.

Von einem Kraftstofftank 15 führt eine Tankentlüftungsleitung 16 zu dem Ansaugrohr 7. In der Tankentlüftungsleitung 16 ist ein Tankfüllungsventil 17 untergebracht, mit dem die Menge des dem Ansaugrohr 7 zugeführten Kraftstoffdampfes aus dem Kraftstofftank 15 einstellbar ist.

Der Kolben 2 wird durch die Verbrennung des Kraftstoffes in dem Brennraum 4 in eine Hin- und Herbewegung versetzt, die auf eine nicht dargestellte Kurbelwelle übertragen wird und

- 12 -

auf diese ein Drehmoment ausübt.

Ein Steuergerät 18 zur Steuerung und/oder Regelung ist von Eingangssignalen 19 beaufschlagt, die mittels Sensoren gemessene Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine 1 darstellen. Beispielsweise ist das Steuergerät 18 mit einem Luftmassensensor, einem Lambda-Sensor, einem Drehzahlsensor und dergleichen verbunden. Des Weiteren ist das Steuergerät 18 mit einem Fahrpedalsensor verbunden, der ein Signal erzeugt, das die Stellung eines von einem Fahrer betätigbaren Fahrpedals und damit das angeforderte Drehmoment angibt.

Das Steuergerät 18 erzeugt Ausgangssignale 20, mit denen über Aktuatoren bzw. Steller das Verhalten der Brennkraftmaschine 1 beeinflusst werden kann. Beispielsweise ist das Steuergerät 18 mit dem Einspritzventil 9, der Zündkerze 10 oder der Drosselklappe 11 und dergleichen verbunden und erzeugt die zu deren Ansteuerung erforderlichen Signale.

U. a. ist das Steuergerät 18 dazu vorgesehen, die Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine 1 zu steuern und/oder zu regeln. Insbesondere wird die von dem Einspritzventil 9 in den Brennraum 4 eingespritzte Kraftstoffmasse von dem Steuergerät 18 insbesondere im Hinblick auf einen geringen Kraftstoffverbrauch und/oder eine geringe Schadstoffentwicklung gesteuert und/oder geregelt. Zu diesem Zweck ist das Steuergerät 18 mit einem Mikroprozessor (Computer) versehen, der in einem Speichermedium, insbesondere einem Flash-Memory, ein Programm abgespeichert hat, das dazu geeignet ist, die genannte Steuerung und/oder Regelung durchzuführen.

Insbesondere bestimmt das Steuergerät 18 den Drosselklappenwinkel und die Einspritzimpulsbreite, die

- 13 -

wesentliche, aufeinander abzustimmende Stellgröße zur Realisierung des gewünschten Drehmomentes, der Abgaszusammensetzung und der Abgastemperatur darstellen.
Eine weitere wesentliche Stellgröße zur Beeinflussung dieser Größen ist die Winkelstellung der Zündung relativ zur Kolbenbewegung.

In diesem Zuge kann die Katalysatortemperatur bestimmt werden, wobei hier zum einen sowohl Messungen als auch eine Modulierung aus den Betriebsgrößen in Frage kommen.
Insbesondere beim Start des Motors besteht jedoch das Problem, dass der Katalysator 12 noch nicht die ausreichende Betriebstemperatur besitzt. Es ist daher notwendig, dass der Katalysator 12 nach einem Kaltstart möglichst schnell auf Betriebstemperatur gebracht wird.
Diese Aufheizung kann mit dem sogenannten motorischen Katheizen durch eine hohe Abgastemperatur erfolgen.

Der Start eines Motors erfolgt in der Regel in einer ersten Betriebsart, dem sogenannten "Homogenbetrieb" der Brennkraftmaschine 1. Hierbei wird die Drosselklappe 11 in Abhängigkeit von dem gewünschten Drehmoment teilweise geöffnet bzw. geschlossen. Der Kraftstoff wird von dem Einspritzventil 9 während einer durch den Kolben 2 hervorgerufenen Ansaugphase in den Brennraum 4 eingespritzt. Durch die gleichzeitig über die Drosselklappe 11 angesaugte Luft wird der eingespritzte Kraftstoff verwirbelt und damit in dem Brennraum 4 im wesentlichen gleichmäßig verteilt. Danach wird das Kraftstoff/Luft-Gemisch während der Verdichtungsphase verdichtet, um dann von der Zündkerze 10 entzündet zu werden. Durch die Ausdehnung des entzündeten Kraftstoffs wird der Kolben 2 angetrieben. Das entstehende Drehmoment hängt im homogenen Betrieb im wesentlichen von der Stellung der Drosselklappe 11 ab. Diese ist in der Startphase im wesentlichen geschlossen. Im Hinblick auf eine geringe

- 14 -

Schadstoffentwicklung wird das Kraftstoff/Luft-Gemisch möglichst bei $\Lambda = 1$ oder $\Lambda > 1$ - leicht mager - eingestellt.

5 Zur Erhöhung der Abgastemperatur kann dabei vorgesehen sein, den Wirkungsgrad der Verbrennung zu verschlechtern, indem die Zündung zu einem späteren Kurbelwinkel stattfindet. Das gezündete Gemisch ist dabei stöchiometrisch oder leicht mager eingestellt. Allerdings
10 besteht bei einer homogenen Betriebsart hierbei der Nachteil, dass die Laufruhe des Motors nicht zufriedenstellend ist.

15 Erfindungsgemäß erfolgt dennoch der Start der Brennkraftmaschine 1 in der homogenen Betriebsart, da für eine geteilte Einspritzung die Luftmenge beim Startverlauf nicht immer ausreicht.

20 Sobald aus der Stellung der Drosselklappe 11 oder anderen Sensorsignalen auf eine ausreichend große, zumindest mittlere Luftfüllung geschlossen werden kann, wird zur Aufheizung des Katalysators 12 eine Umschaltung in einen Betriebszustand mit aufgeteilter Einspritzung durchgeführt.
Hierbei wird zunächst eine erste Einspritzmenge in den
25 Brennraum eingespritzt und zu einem späteren Kurbelwinkel eine zweite Einspritzmenge, wobei beide Einspritzzeitpunkte vor dem Zündzeitpunkt der Zündkerze 10 liegen. Durch die Aufteilung der Einspritzung entsteht eine Gemischschichtung, wobei an der Zündkerze 10 ein eher fettes Gemisch anliegt, obwohl das Summenlambda in der gesamten Brennkammer 4 noch mager ist. Durch das fette
30 Gemisch um die Kerze kann ein sicheres Zünden auch bei sehr magarem Summenlambda sichergestellt werden. Zusätzlich kann - trotz später Zündung - ein sicheres, schnelles Anbrennen des Gemisches gewährleistet werden. Dadurch erhöht sich die Laufruhe auch bei später Zündung und damit schlechterem
35

- 15 -

Wirkungsgrad. Es können auf diese Weise Wandwärmeverluste verringert werden und es sind höhere Abgastemperaturen bei gleicher Abgasmenge erzielbar. Damit wird die Aufheizung des Katalysators schneller erreicht.

5

Bei der Umstellung stellen sich nun folgende Probleme: So kann zunächst die Umschaltung nur erfolgen, wenn eine Mindest-Luftfüllung vorliegt, da ansonsten die einzuspritzende Kraftstoffmenge je Einspritzung zu gering ist, um zu gewährleisten, dass die Regelung der Kraftstoffzufuhr eine ausreichende Genauigkeit besitzt. Darüber hinaus ist die Momentenentwicklung aufgrund des unterschiedlichen Gemischtyps und der anderen Verbrennungsgeschwindigkeit bei einfacher homogener Einspritzung und aufgeteilter Einspritzung stark unterschiedlich. Daher muss mit der Umschaltung der Zündzeitpunkt sprunghaft verschoben und die Luftfüllung schnell verändert werden. Auch wenn die Momentenentwicklung für diese Änderungen genau modelliert werden kann, entstehen durch Toleranzen von Sensoren und Aktuatoren Ungenauigkeiten. Es kann daher zu einem Momentensprung kommen, den der Fahrer wahrnimmt. Darüber hinaus können Lambda-Abweichungen auftreten, da die Genauigkeit der Kraftstoffzumessung für beide Einspritzarten unterschiedlich ist.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

70

75

80

85

90

95

100

105

110

115

120

125

130

135

140

145

150

155

160

165

170

175

180

185

190

195

200

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

70

75

80

85

90

95

100

105

110

115

120

125

130

135

140

145

150

155

160

165

170

175

180

185

190

195

200

205

210

215

220

225

230

235

240

245

250

255

260

265

270

275

280

285

290

295

300

305

310

315

320

325

330

335

340

345

350

355

360

365

370

375

380

385

390

395

400

405

410

415

420

425

430

435

440

445

450

455

460

465

470

475

480

485

490

495

500

505

510

515

520

525

530

535

540

545

550

555

560

565

570

575

580

585

590

595

600

605

610

615

620

625

630

635

640

645

650

655

660

665

670

675

680

685

690

695

700

705

710

715

720

725

730

735

740

745

750

755

760

765

770

775

780

785

790

795

800

805

810

815

820

825

830

835

840

845

850

855

860

865

870

875

880

885

890

895

900

905

910

915

920

925

930

935

940

945

950

955

960

965

970

975

980

985

990

995

1000

1005

1010

1015

1020

1025

1030

1035

1040

1045

1050

1055

1060

1065

1070

1075

1080

1085

1090

1095

1100

1105

1110

1115

1120

1125

1130

1135

1140

1145

1150

1155

1160

1165

1170

1175

1180

1185

1190

1195

1200

1205

1210

1215

1220

1225

1230

1235

1240

1245

1250

1255

1260

- 16 -

die gewünschte Gemischaufbereitung erreicht ist.

Unmittelbar nach der Umschaltung liegt der zweite Einspritzzeitpunkt so früh, dass er annähernd beim ersten
5 Einspritzzeitpunkt liegt und daher das Gemisch annäherungsweise einem homogenen Gemisch mit einzelner Einspritzung entspricht. Es müssen dann Zündzeitpunkt und Luftfüllung nur noch mininmal angepasst werden. Nach der Umschaltung kann dann der zweite Einspritzzeitpunkt
10 kontinuierlich zum eigentlichen Sollwert, d. h. in Richtung des Zündzeitpunktes verschoben werden. Zündzeitpunkt und Luftfüllung warden dabei an die geänderte Gemischaufbereitung und Momentenentwicklung angepasst.
15 Insbesondere wird die Luftfüllung erhöht, um einem Momentenverlust entgegenzuwirken. Der Zündzeitpunkt kann bei gleichbleibender Laufruhe weiter nach hinten verschoben werden, da eine geteilte Einspritzung eine höhere Laufruhe bei schlechterem Wirkungsgrad erlaubt, als eine homogene Einspritzung.
20 Insgesamt haben die Gemischtypen bei der Umschaltung ähnliche Eigenschaften. Ungenauigkeiten von Sensoren und Aktuatoren wirken sich daher nicht unterschiedlich aus.
Insbesondere wenn die Verschiebung des zweiten
25 Einspritzzeitpunktes der zweiten Kraftstoffmenge langsam und kontinuierlich erfolgt, sind hier Ungenauigkeiten nicht mehr spürbar und sie führen nicht zu einer Einbuße im Fahrverhalten des Kraftfahrzeugs.
30 Wird die Luftfüllung erhöht, nachdem oder während die zweite Kraftstoffeinspritzung nach spät verschoben wird, so wird der Zündzeitpunkt entsprechend der höheren Füllung und der geänderten Gemischaufbereitung angepasst. Insgesamt können Stufen und Sprünge, die sich im maximalen Moment bei optimaler Zündung ergeben, hiardurch derartig angenähert
35 werden, dass die einzelnen Betriebszustände annähernd

- 17 -

kontinuierlich ineinander übergehen.

Anhand Figur 2 soll verdeutlicht werden, wie sich die einzelnen Parameter verändern, wenn der Umschaltvorgang
5 abrupt oder durch kontinuierliche Verschiebung der zweiten Kraftstoffeinspritzung bezüglich des Zeitpunktes verändert wird.

Figur 2 zeigt jeweils auf der linken Seite Darstellungen für das maximale Moment bei optimaler Zündung, den Einspritzzeitpunkt bezüglich des Abstandes vor dem oberen Totpunkt, den Zündzeitpunkt bezüglich des Abstandes zum oberen Totpunkt und die Luftfüllung für eine unmittelbare Umschaltung auf den gewünschten Sollwert bei der
10 aufgeteilten Einspritzung. Die rechten Darstellungen zeigen dagegen ein erfindungsgemäßes "Auframpen", wobei der Einspritzzeitpunkt der zweiten Kraftstoffmenge zunächst nahe beim ersten Einspritzzeitpunkt liegt, und somit die
15 Gemischcharakteristik annähernd derjenigen der homogenen Einspritzung entspricht.
20

So kann insbesondere gut gesehen werden, dass in der untersten Darstellung, die das maximale Moment bei optimaler Zündung zeigt, bei einer einzelnen Einspritzung
25 über die Zeit, zunächst ein konstantes Moment vorliegt, wobei dieses ansteigt, da auch bei optimaler Zündung bei der aufgeteilten Einspritzung ein geringeres Moment erbracht wird als bei einfacher homogener Einspritzung und so vor der Umschaltung bereits mehr Luftfüllung aufgebaut
30 werden muss. Daher steigt das optimale Moment für die homogene Einspritzung dann mit der Luftfüllung an. Diese Moment fällt dann schlagartig zum Zeitpunkt der Umschaltung, die jeweils durch die mittlere gestrichelte senkrechte Linie dargestellt ist, ab. Dieser
35 Leistungsverlust ist vom Fahrer als Ruck spürbar, sofern er nicht durch die Korrektur des Zündzeitpunkts hinreichend

- 18 -

kompensiert wird. Durch Erhöhung der Luftmenge sowie Einstellung eines wiederum optimalen Zündzeitpunktes kann dieses Moment dann langsam wieder gesteigert werden.

5 Bei einer Umschaltung, wobei die zweite Kraftstoffeinspritzung zunächst auch früh, also weit vor dem oberen Totpunkt, erfolgt, verhält sich das Gemisch zunächst auch nach der Umschaltung wie ein homogenes Gemisch. Durch die Verschiebung des Zündzeitpunktes und des
10 zweiten Einspritzzeitpunktes steigt das optimale Moment dann wiederum auf den Endwert an. Ein Sprung ist über die Umschaltung annähernd nicht festzustellen.

15 Die zweite Darstellung von unten zeigt den Abstand vom unteren Totpunkt bezüglich des zweiten Einspritzzeitpunktes. Ist auf der linken Seite dargestellt, dass dieser einen relativ kurzen Abstand vom oberen Totpunkt bereits zum Zeitpunkt der Umstellung besitzt, kann der rechten Darstellung entnommen werden, dass dieser zunächst einen erheblichen Abstand vom oberen Totpunkt aufweist nach der Umschaltung, und dann erst im Laufe der Umstellung an den Sollwert, der nahe am oberen Totpunkt liegt, herangefahren wird.
20

25 Ebenfalls zu sehen ist, dass zunächst der Zündzeitpunkt bei einer homogenen Einspritzung einen relativ großen Abstand zum oberen Totpunkt aufweist, d. h. eine frühe Zündung findet statt, da nur dann eine gute Laufruhe bei einer homogenen Einspritzung gewährleistet ist. Zur Umschaltung hin wird dieser Zeitpunkt nach hinten verschoben, um bei der erhöhten Luftfüllung, die sich aus der obersten Darstellung ergibt, einem weiteren Anstieg des Momentes bei einer homogenen Betriebsart entgegenzuwirken. Durch das nach hinten Verschieben des Zündzeitpunktes wird allerdings 30 die Laufruhe verschlechtert.
35

- 19 -

Nach der Umschaltung muss der Zündzeitpunkt dann sprunghaft wieder nach früh verschoben werden, um bei gleichbleibender Luftfüllung zunächst einem Momentenabfall entgegenzuwirken und somit eine optimale Zündung zu erzielen. Im späteren
5 Zeitpunkt kann der Zündzeitpunkt dann wieder nach hinten verschoben werden, wobei eine Verschiebung insgesamt deutlich weiter nach hinten erfolgen kann, also zu einem späteren Zeitpunkt gezündet werden kann als bei einer homogenen Betriebsart, da hier auch bei schlechterem
10 Wirkungsgrad die Laufruhe nicht beeinträchtigt ist.

Betrachtet man nun die rechte Darstellung, so sieht man, dass auch hier die Zündzeitpunkte nur einen kleinen Sprung vollführen, da auch hier die Gemischcharakteristiken zum
15 Zeitpunkt der Umschaltung ähnlich sind.

Die Luftfüllung verhält sich sowohl für die sprunghafte Umstellung als auch für die kontinuierliche Umstellung annähernd gleich, da diese erhöht werden muss bei einer Betriebsart mit aufgeteilter Einspritzung, um ein optimales
20 Moment erreichen zu können.

Ansprüche

- 10 1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, insbesondere für Kraftfahrzeuge, mit einem Katalysator zur Aufheizung des Katalysators, bei dem zwischen einem homogenen Betriebszustand mit einmaliger und einem Betriebszustand mit aufgeteilter Einspritzung von
- 15 Kraftstoff auf mindestens zwei Einspritzzeitpunkte in einen Brennraum der Brennkraftmaschine umgeschaltet wird, wobei bei aufgeteilter Einspritzung beide Einspritzzeitpunkte vor einer Zündung eines Kraftstoff/Luft-Gemisches liegen, dadurch gekennzeichnet, dass beim Umschaltvorgang vom
- 20 homogenen Betriebszustand auf den Betriebszustand mit aufgeteilter Einspritzung der erste Einspritzzeitpunkt im wesentlichen dem Einspritzzeitpunkt des homogenen Betriebszustandes entspricht und die zweite Einspritzung der aufgeteilten Einspritzung zunächst so früh erfolgt,
- 25 dass das entstehende Gemisch beim Betrieb mit aufgeteilter Einspritzung annähernd einem homogenen Gemisch entspricht und nach der erfolgten Umschaltung der zweite Einspritzzeitpunkt nach spät verschoben wird, bis eine vorgegebene Gemischaufbereitung vorliegt und wobei bei einer Umschaltung vom Betriebszustand mit aufgeteilter Einspritzung zum homogenen Betriebszustand die Verschiebung des zweiten Einspritzzeitpunktes umgekehrt erfolgt.
- 30
- 35 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Umschaltung überprüft wird, ob die Luftfüllmenge in der Brennkammer einen vorgegebenen

- 21 -

Grenzwert übersteigt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Luftfüllmenge nach dem Umschalten vom homogenen Betriebszustand in den mit aufgeteilter Einspritzung erhöht wird, wenn der zweite Einspritzzeitpunkt nach spät verschoben wird, wobei die Anpassung der Luftfüllmenge vor dem Zurückschalten in den homogenen Betriebszustand in entsprechend umgekehrter Weise erfolgt.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nach der Umschaltung vom homogenen Betriebszustand in den Betriebszustand mit aufgeteilter Einspritzung und/oder vor dem Zurückschalten bei der Verschiebung des zweiten Einspritzzeitpunktes der Zündzeitpunkt verschoben wird.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Verschiebung des zweiten Einspritzzeitpunktes kontinuierlich oder in mehreren diskreten Schritten erfolgt.
6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die eingespritzte Kraftstoffmenge während der Verschiebung der zweiten Einspritzung nach spät reduziert wird, um ein insgesamt mageres Lambda zu erzielen.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass mit dem Verschieben der zweiten Einspritzung nach früh die eingespritzte Kraftstoffmenge wieder erhöht wird, um die Magerlaufgrenze bei einfacher homogener Einspritzung einzuhalten.
8. Computerprogramm, dadurch gekennzeichnet, dass es zur

- 22 -

Durchführung des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche geeignet ist, wenn es auf einem Computer ausgeführt wird.

- 5 9. Computerprogramm nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass es auf einem Speicher, insbesondere auf einem Flash-Memory, abgespeichert ist.
- 10 10. Steuer- und/oder Regelgerät zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, dadurch gekennzeichnet, dass es einen Speicher umfasst, auf dem ein Computerprogramm nach einem der Ansprüche 8 oder 9 abgespeichert ist.
- 15 11. Brennkraftmaschine, mit einem Brennraum, mit einer Kraftstoff-Einspritzvorrichtung, über welche der Kraftstoff in den Brennraum gelangt mit einem Steuer- und Regelgerät, sowie einem Katalysator, wobei insbesondere zur Aufheizung des Katalysators vorgesehen ist, dass eine Umschaltung zwischen einem homogenen Betriebszustand mit einmaliger und einem Betriebszustand mit aufgeteilter Einspritzung von Kraftstoff auf mindestens zwei Einspritzzeitpunkte in den Brennraum der Brennkraftmaschine vorgesehen ist, wobei bei aufgeteilter Einspritzung beide Einspritzzeitpunkte vor einer Zündung des Kraftstoff/Luft-Gemisches liegen, dadurch gekennzeichnet, dass unmittelbar nach dem Umschaltvorgang vom homogenen Betriebszustand auf den Betriebszustand mit aufgeteilter Einspritzung der erste Einspritzzeitpunkt im wesentlichen dem Einspritzzeitpunkt des homogenen Betriebszustandes entspricht und der zweite Einspritzzeitpunkt der aufgeteilten Einspritzung zunächst so nahe beim ersten Einspritzzeitpunkt liegt, dass das hierbei entstehende Gemisch annähernd einem homogenen Gemisch entspricht und der zweite Einspritzzeitpunkt vom ersten Einspritzzeitpunkt weg nach spät verschiebbar ist, bis eine vorgegebene Gemischaufbereitung vorliegt und wobei bei einer Umschaltung vom Betriebszustand mit aufgeteilter

- 23 -

Einspritzung zum homogenen Betriebszustand der zweite
Einspritzzeitpunkt umgekehrt verschiebbar ist.

12. Brennkraftmaschine nach Anspruch 11, dadurch
5 gekennzeichnet, dass sie ein Steuer- und/oder Regelgerät
nach Anspruch 10 umfasst.

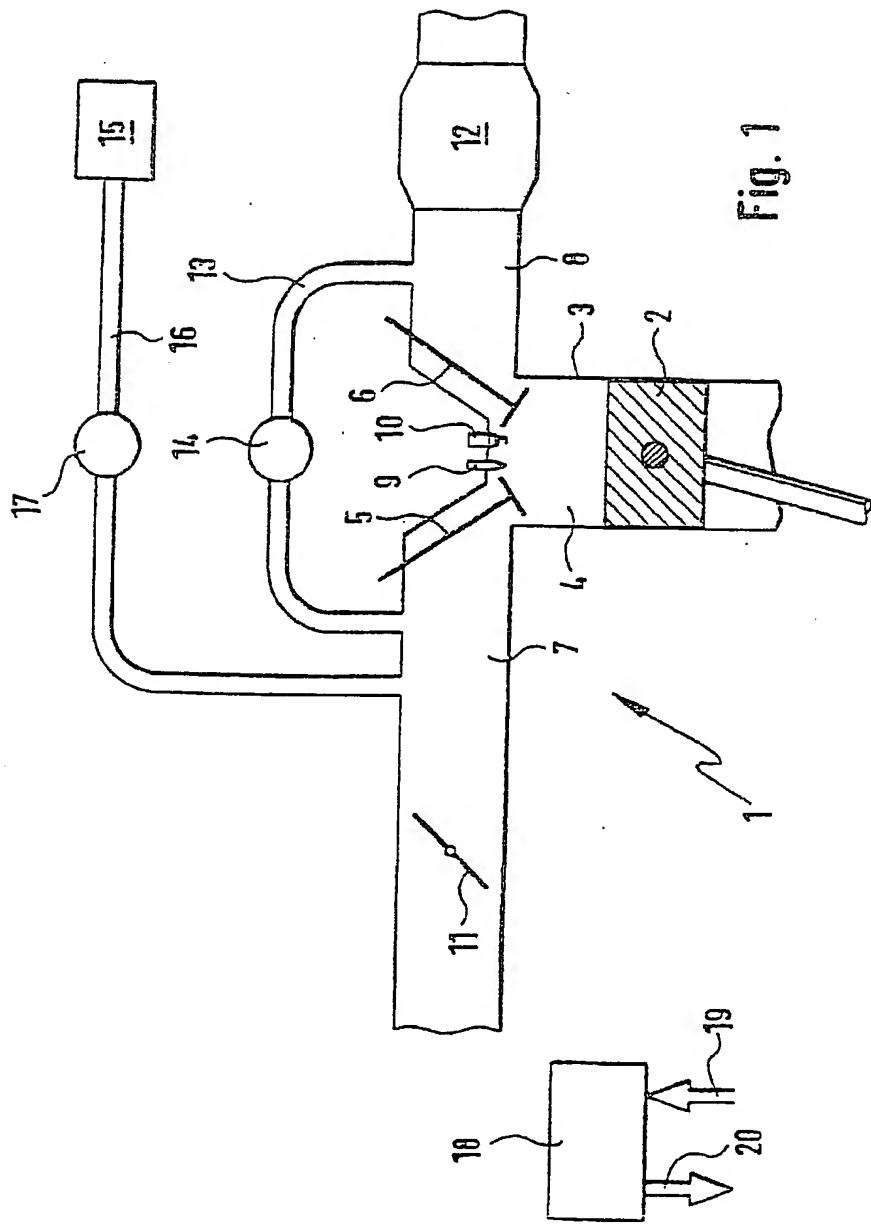


Fig. 1

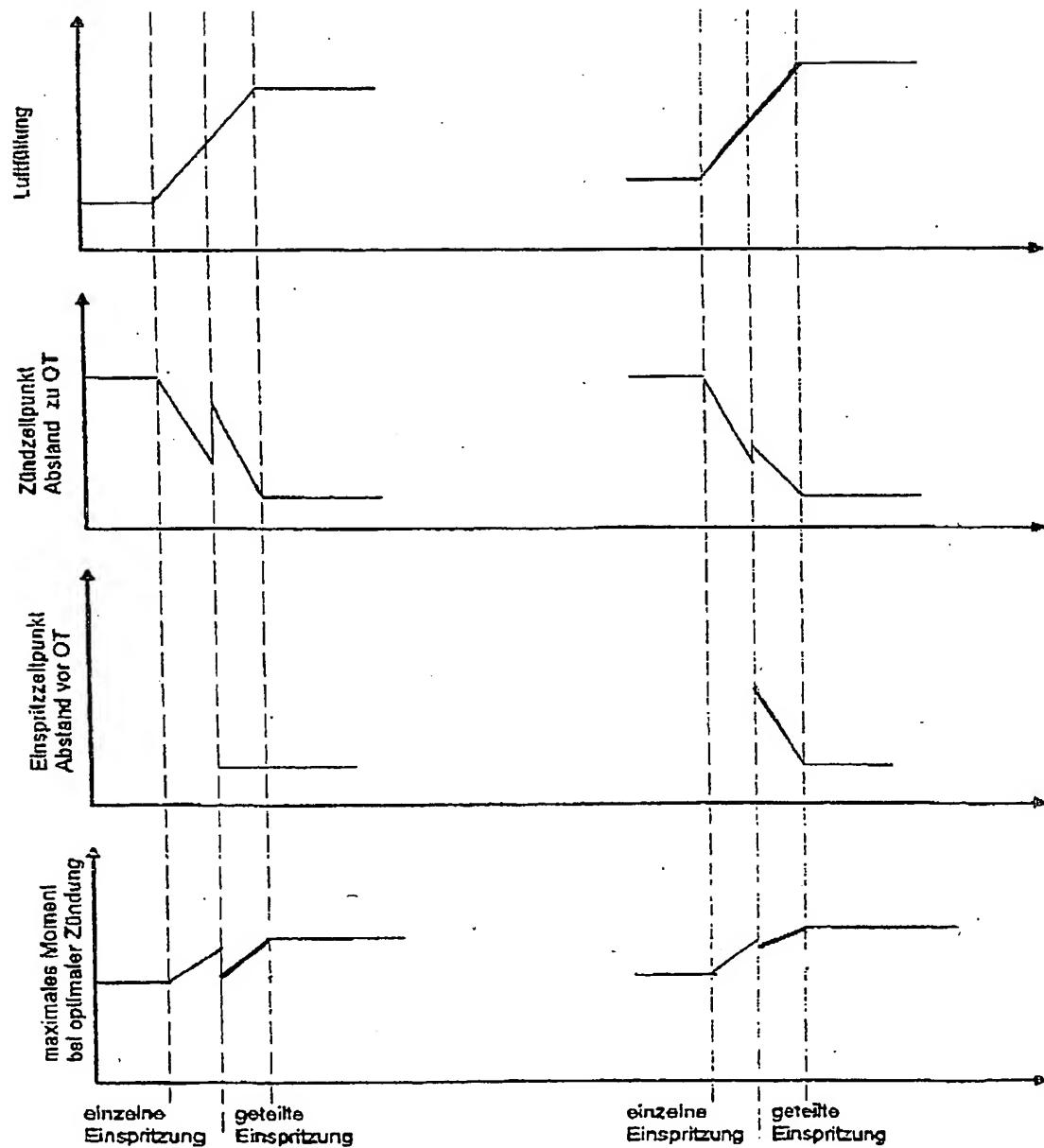


Fig.2

THIS PAGE BLANK (USPTO)